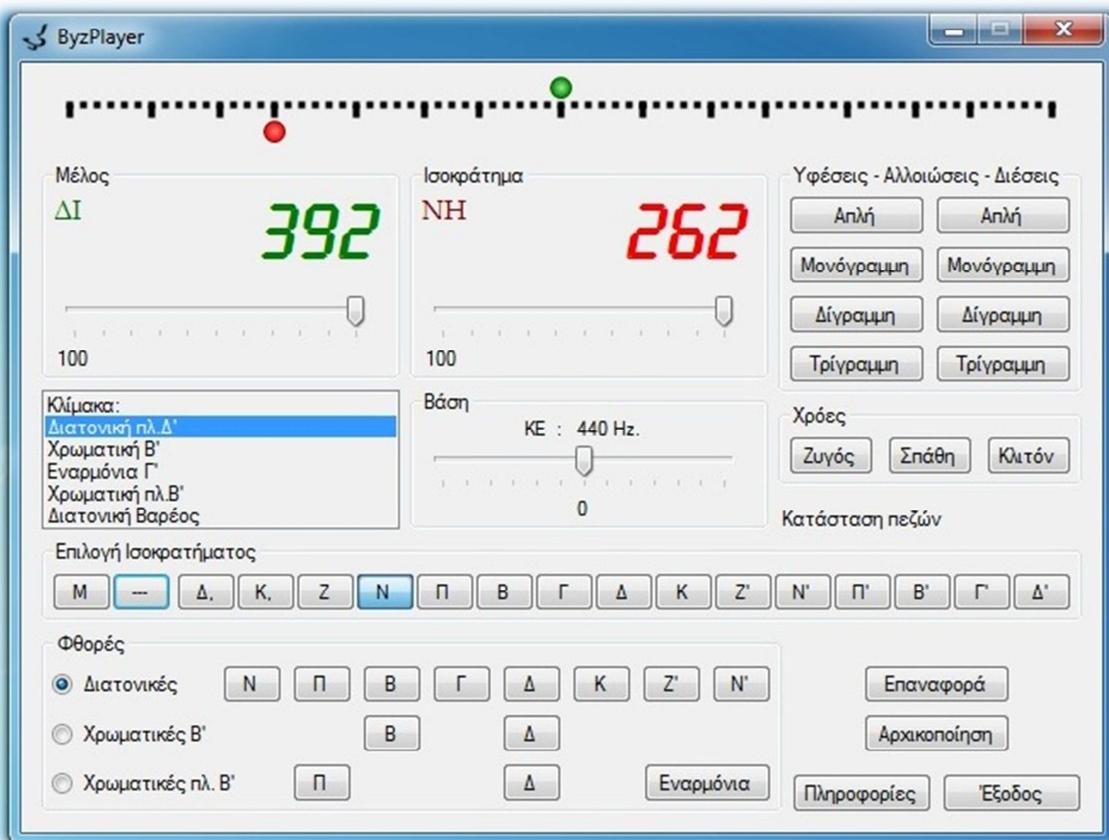


ΕΡΑΤΕΙΟ ΩΔΕΙΟ

Εργασία 2ου εξαμήνου στην Βυζαντινή Μουσική Τα διαστήματα της Βυζαντινής Μουσικής μέσα από το πρόγραμμα *ByzPlayer*



του *Κωνσταντίνου Γ. Ρακτιβάν*

επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Γεώργιος Δ. Ζήσιμος

Μάιος 2012

ΑΘΗΝΑ

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	- 2 -
Πρόλογος.....	- 3 -
Μαθηματικό – Φυσικό υπόβαθρο	- 4 -
Σύντομη παρουσίαση του προγράμματος	- 7 -
Αναλυτική περιγραφή λειτουργίας	- 10 -
Επίλογος	- 15 -

Πρόλογος

Δεν είναι δύσκολο να παρατηρήσει ακόμη και ένας μέτριος γνώστης της Βυζαντινής Μουσικής ότι διάφοροι μουσικοί και χορωδίες εκτελούν με διαφορετικό τρόπο πολλά διαστήματα της Βυζαντινής Μουσικής. Για παράδειγμα, συχνά συγχέονται τα διαστήματα του δευτέρου ήχου με αυτά του πλαγίου δευτέρου και σαν αποτέλεσμα προκύπτει ένα μεικτό άκουσμα. Εξάλλου, οι χρόες – ιδιαιτέρως το κλιτόν – αποτελούν σημείο χαρακτηριστικών διαφορών, παρόλο που όλα αυτά τα διαστήματα έχουν ορισθεί στην θεωρία της Βυζαντινής Μουσικής. Επίσης, είναι λυπηρό ότι σε ορισμένες σχολές μουσικής χρησιμοποιούνται όργανα της ευρωπαϊκής μουσικής προκειμένου να δοθούν στους μαθητές ακούσματα διαστημάτων βυζαντινής μουσικής. Όλα αυτά, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι αρκετές πολύπλοκες μελωδικές γραμμές που περιλαμβάνουν φθορές και γενικότερα αλλοιώσεις του μέλους είναι πράγματι δύσκολες, στάθηκαν αφορμή για την εκπόνηση της παρούσης εργασίας.

Εάν το πιάνο μπορούσε να εκτελέσει με ακρίβεια τα διαστήματα της Βυζαντινής Μουσικής, θα ήταν ένα ιδανικό όργανο για την λήψη ακούσματος της σωστής τονικότητος των φθόγγων, κατά την εκμάθηση της μουσικής¹. Αλλά κάτι τέτοιο δεν ισχύει, καθώς τα περισσότερα διαστήματα που συναντούμε στην βυζαντινή μουσική δεν υπάρχουν στην ευρωπαϊκή². Έτσι, μια σκέψη είναι η δημιουργία ενός προγράμματος με τρόπο λειτουργίας παρόμοιο με του πιάνου, το οποίο θα λαμβάνει υπ' όψιν του τα διαστήματα της Βυζαντινής Μουσικής και θα παράγει τόνους της ακριβούς οξύτητος κάθε φθόγγου.

Η ιδέα αυτή γίνεται πράξη με το πρόγραμμα ByzPlayer, το οποίο αξιοποιεί την σύγχρονη τεχνολογία, εκμεταλλευόμενο την υπολογιστική ταχύτητα και ακρίβεια, με σκοπό να βοηθήσει τον μαθητή της Βυζαντινής Μουσικής να ελέγξει κατά πόσο αποδίδει σωστά – από άποψη τονικότητος – μία μελωδική γραμμή. Το αποτέλεσμα αυτό επιτυγχάνεται χάρη στην ενσωμάτωση της θεωρίας της Βυζαντινής Μουσικής³ μέσα στον κώδικα του προγράμματος, με τρόπο που θα αναλυθεί στην συνέχεια.

Στο σημείο αυτό είναι καλό να τονισθεί πως το πρόγραμμα δεν προορίζεται για εκτέλεση μέλους με σκοπό την ακρόαση (αφού δεν κάνει χρήση ανθρώπινης φωνής), αλλά μόνο για λήψη ακούσματος με την σωστή συχνότητα. Επιπλέον, δεν

¹ Προς αποφυγή παρεξηγήσεων, διευκρινίζω πως κανένα μουσικό όργανο δεν αρμόζει για εκτέλεση εικλησιαστικού μέλους, σύμφωνα με τον χαρακτήρα της ορθοδόξου λατρευτικής μουσικής.

² Συγκεκριμένα, όσα δεν έχουν αριθμό ηχομορίων που είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του έξι.

³ Η θεωρία της Βυζαντινής Μουσικής ενσωματώθηκε στο πρόγραμμα ByzPlayer όπως αυτή ορίσθηκε από την Μεγάλη Μουσική Πατριαρχική Επιτροπή το 1881. Όλα τα διαστήματα, καθώς και η ενέργεια κάθε σημαδοφώνου, αποδίδονται με βάση τις αποφάσεις τις Επιτροπής.

έχει την δυνατότητα εκτελέσεως πολλών μελισματικών επιτηδεύσεων της Βυζαντινής Μουσικής, όπως είναι οι χαρακτήρες ποιότητος⁴.

* * *

Μαθηματικό – Φυσικό υπόβαθρο

Αρμονικές κυματομορφές

Ο ήχος, κατά την Φυσική είναι ένα διάμηκες κύμα, δηλαδή μία διαταραχή που διαδίδεται σε ένα ελαστικό μέσο⁵ με την μορφή πυκνωμάτων και αραιωμάτων. Στην μουσική το μέσο που χρησιμοποιείται για την μετάδοση του σήματος (δηλαδή του ήχου) από τον πομπό (φωνή ή μουσικό όργανο) στον δέκτη (ακροατή) είναι ο αέρας, στον οποίο τα ακουστικά κύματα οδεύουν με ταχύτητα περίπου 340 μέτρα ανά δευτερόλεπτο.

Διαφορετικά μουσικά όργανα, ακόμη κι αν εκτελούν τον ίδιο φθόγγο, δημιουργούν διαφορετικά ακούσματα⁶. Η ποικιλία αυτή, που αναφέρεται και ως χροιά του οργάνου, οφείλεται στο γεγονός ότι, λόγω διαφορών στην φύση του οργάνου και στον τρόπο κατασκευής του (π.χ. κρουστά/έγχορδα, ξύλινα/μεταλλικά κλπ), κατά την διέγερση του οργάνου στον σχηματισμό του ήχου συμμετέχουν πολλές αρμονικές, πέρα από την θεμελιώδη⁷. Στο πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε μία αρμονική για την απλούστευση των υπολογισμών και για ξεκάθαρη λήψη ακούσματος της τονικότητος, παρόλο που περισσότερες αρμονικές προσδίδουν ομορφιά στον ήχο.

Από την σκοπιά των Μαθηματικών, μία αρμονική είναι μία ημιτονοειδής κυματομορφή και τα χαρακτηριστικά που την προσδιορίζουν είναι η συχνότητα f (αντιστοιχεί στην οξύτητα του ήχου, μετριέται σε Hz) και το πλάτος A (αντιστοιχεί στην ένταση του ήχου). Ένα τέτοιο κύμα στον χρόνο έχει εξίσωση

$$y(t) = A \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$$

⁴ Τα σημαδόφωνα της Βυζαντινής Μουσικής, καθώς και η δράση καθενός εξ αυτών παρουσιάζονται λεπτομερώς, με την χρήση οπτικοακουστικού υλικού (video), στην εργασία του Νικολάου Ρακτιβάν *Τα σημαδόφωνα της Βυζαντινής Μουσικής*.

⁵ Ο ήχος μπορεί να διαδοθεί με μεγάλη ταχύτητα σε στερεά και υγρά μέσα, ενώ με σχετικά μικρότερη ταχύτητα και σε αέρια μέσα. Δεν διαδίδεται στο κενό.

⁶ Προφανώς, το ίδιο συμβαίνει και με την ανθρώπινη φωνή. Στο εξής, η φωνή μπορεί να θεωρηθεί ως μουσικό όργανο, με όλα τα χαρακτηριστικά που τα συνοδεύουν.

⁷ Μία αρμονική είναι ένας καθαρός τόνος ορισμένης συχνότητος. Η θεμελιώδης αρμονική αντιστοιχεί στον τόνο με την συχνότητα (οξύτητα) του εκτελούμενου φθόγγου.

όπου t ο χρόνος, σε δευτερόλεπτα. Στον υπολογιστή αυτό το συνεχές κύμα διακριτοποιείται ως εξής: Ορίζουμε ως συχνότητα δειγματοληψίας (sampling rate, SRATE) τα διακριτά δείγματα που θα στέλνονται από την κάρτα ήχου στα ηχεία ανά μονάδα χρόνου (δευτερόλεπτα). Τότε η τιμή του n -οστού δείγματος είναι

$$y(n) = A \cdot \sin\left(2\pi \cdot f \cdot \frac{n}{\text{SRATE}}\right)$$

Στην παράμετρο SRATE αναθέτουμε πολύ υψηλές τιμές, για να μην γίνεται ούτε κατ' ελάχιστο αντιληπτή αυτή η διακριτοποίηση από το ανθρώπινο αυτί. Στο πρόγραμμα ByzPlayer η τιμή της SRATE είναι 44.1kHz⁸.

Αφού υπολογισθεί η τιμή $y(n)$, κβαντίζεται, δηλαδή στρογγυλοποιείται στον πλησιέστερο ακέραιο, διαδικασία που πρακτικά δεν αλλοιώνει το άκουσμα, καθώς το πλάτος λαμβάνει τιμές της τάξεως του 10,000.

Μετατροπή κλίμακος ηχομορίων σε κλίμακα συχνοτήτων

Με βάση τα διεθνή πρότυπα, η συχνότητα που αντιστοιχεί στον φθόγγο ΛΑ (A4) της ευρωπαϊκής μουσικής είναι 440Hz. Για τυπικούς και μόνον λόγους ορίζουμε αυτήν την συχνότητα ως συχνότητα αναφοράς του φθόγγου Κε της μέσης κλίμακος της Βυζαντινής Μουσικής⁹.

Επίσης, είναι γνωστό ότι για να ανεβούμε μια οκτάβα πάνω από οποιονδήποτε φθόγγο, πρέπει να διπλασιάσουμε την συχνότητά του. Αυτό, στην γλώσσα των Μαθηματικών περιγράφεται εύκολα και με σαφήνεια ως εξής: η κλίμακα των διαστημάτων (σε ηχομόρια, τόνους, οκτάβες κλπ.) σχετίζεται με την κλίμακα των συχνοτήτων με εκθετικό τρόπο. Δηλαδή, αν θέλαμε να ανεβούμε μία οκτάβα πάνω, θα πολλαπλασιάζαμε επί 2· αν θέλαμε να κατεβούμε μία οκτάβα κάτω, θα διαιρούσαμε διά 2· αν θέλαμε να ανεβούμε μισή οκτάβα πάνω (δηλαδή 3 τόνους), θα πολλαπλασιάζαμε επί $\sqrt{2} = 2^{1/2}$ κλπ. Έτσι, αν θέλουμε από τον φθόγγο Κε να ανεβούμε μη ηχομόρια πάνω, θα πολλαπλασιάζαμε επί $2^{\mu/72}$ την συχνότητα του Κε¹⁰. Συνεπώς, αν θεωρήσουμε την κλίμακα των ηχομορίων μ , και θέταμε $\mu=0$ στον φθόγγο Κε, η συχνότητα f τυχόντος φθόγγου δίνεται από τον τύπο¹¹

$$f(\mu) = f_0 \cdot 2^{\frac{\mu}{72}}$$

όπου f_0 η συχνότητα αναφοράς που αποδίδουμε στον φθόγγο Κε.

⁸ Την ίδια τιμή χρησιμοποιούν και οι περισσότερες ψηφιακές εφαρμογές επεξεργασίας ήχου.

⁹ Διευκρινίζουμε ότι ο ορισμός αυτός γίνεται για τυπικότητα, χωρίς να συγχέουμε τα δύο διαφορετικά είδη μουσικής – άλλωστε στο πρόγραμμα ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αλλάξει την συχνότητα αναφοράς κατά βούληση.

¹⁰ Αν μ αρνητικός, δηλαδή αν θέλουμε να κατεβούμε $|\mu|$ ηχομόρια, ο τύπος εξακολουθεί να ισχύει, αφού όταν πολλαπλασιάζουμε επί $2^{\mu/72}$, όπου $\mu < 0$, είναι σαν να διαιρούμε διά $2^{|\mu|/72}$.

¹¹ Κ. Δ. Αλεξοπούλου, *Μηχανική - Ακουστική*, Έκδοσις 4^η μετά 401 σχημάτων, Αθήναι 1960, σελ. 346.

Ως παράδειγμα επιλέγουμε την φυσική διατονική διαπασών ικλίμακα του πλαγίου Τετάρτου με διαστήματα σε ηχομόρια 12, 10, 8, 12, 12, 10, 8. Αν $f_0=440Hz$, προκύπτουν:

Φθόγγος	Nη	Πα	Βου	Γα	Δι	Κε	Zω'	Nη'
διάστημα	12	10	8	12	12	10	8	
μ	-54	-42	-32	-24	-12	0	10	18
$f(\mu)$, Hz	262	294	323	349	392	440	484	523

Έτσι, όταν ο χρήστης δίνει εντολή στο πρόγραμμα ByzPlayer να εκτελέσει έναν φθόγγο, το πρόγραμμα υπολογίζει την συχνότητα¹² που αντιστοιχεί στον φθόγγο αυτό και στέλνει στην κάρτα ήχου του υπολογιστή την διακριτοποιημένη ημιτονοειδή κυματομορφή της. Έπειτα, η κάρτα ήχου παράγει κύματα τάσεως της ίδιας μορφής, τα οποία μετατρέπονται σε ακουστικά κύματα στα ηχεία. Κατά την διαδικασία αυτή η συχνότητα του ήχου δεν αλλιώνεται: παραμένει όπως ακριβώς υπολογίστηκε από το πρόγραμμα, με αποτέλεσμα να εκτελούνται σωστά τα ηχητικά διαστήματα.

¹² Σημειώνουμε ότι τις συχνότητες τις στρογγυλοποιούμε στον πλησιέστερο ακέραιο για υπολογιστικούς λόγους. Αυτό επιφέρει ένα σφάλμα στην απόδοση της σωστής συχνότητος της τάξεως του 0.5Hz το πολύ, το οποίο στις χαμηλές συχνότητες (~100Hz) αντιστοιχεί σε μισό ηχομόριο το πολύ, ενώ στις υψηλές συχνότητες (~1000Hz) αντιστοιχεί σε μόλις ένα εικοστό του ηχομορίου. Οι αποκλίσεις αυτές πρακτικά δεν γίνονται αντιληπτές από το ανθρώπινο αυτί.

Για λόγους πληρότητος, παραθέτω τον υπολογισμό των σφαλμάτων: Αν δf και $\delta \mu$ τα σφάλματα στην συχνότητα και τα ηχομόρια αντιστοίχως, τότε:

$$f' = f + \delta f \text{ και } \mu' = \mu + \delta \mu. \text{ Προφανώς, } |\delta f| \leq 0.5Hz.$$

$$\text{Επίσης, } f = f_0 \cdot 2^{\frac{\mu}{72}} \text{ και } f' = f_0 \cdot 2^{\frac{\mu'}{72}}, \text{ όπου } f_0 = 440Hz \Rightarrow$$

$$\mu = 72 \cdot \log_2 \frac{f}{f_0} \text{ και } \mu' = 72 \cdot \log_2 \frac{f'}{f_0} \Rightarrow$$

$$\delta \mu \equiv \mu' - \mu = 72 \cdot \log_2 \frac{f'}{f} = 72 \cdot \log_2 \left(1 + \frac{\delta f}{f} \right)$$

Η τελευταία έκφραση, όταν η f κυμαίνεται μεταξύ 100Hz και 1000Hz, λαμβάνει – στην χειρότερη περίπτωση – τις προαναφερθείσες τιμές.

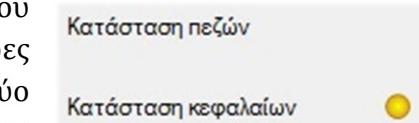
Σύντομη παρουσίαση του προγράμματος

Το πρόγραμμα ByzPlayer.exe τρέχει σε περιβάλλον Windows XP ή νεότερο, με εγκατεστημένο το .NET Framework και την γραμματοσειρά LcdN.



Ο χρήστης, μέσω του πληκτρολογίου, έχει πρόσβαση σε όλες τις δυνατότητες του προγράμματος, ενώ μέσω του ποντικιού δεν μπορεί να επιλέξει το μέλος (αφού δεν είναι δυνατόν η κίνηση του ποντικιού να ανταποκριθεί στις γρήγορες διακυμάνσεις του μέλους). Το πληκτρολόγιο έχει δύο δυνατές καταστάσεις: Όταν είναι επιλεγμένο το CapsLock ή είναι πιεσμένο το Shift (χωρίς επιλεγμένο CapsLock), βρίσκεται σε κατάσταση κεφαλαίων. Διαφορετικά, βρίσκεται σε κατάσταση πεζών.

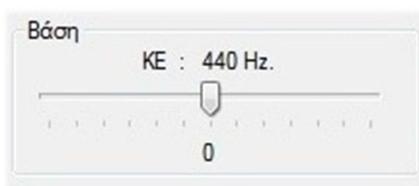
Προκειμένου να εκτελεστούν οι διάφοροι φθόγγοι, φορτώνεται μία κλίμακα. Η προεπιλογή είναι η Διατονική πλ.Δ', αλλά ο χρήστης μπορεί ανά πάσα στιγμή να επιλέξει οποιαδήποτε από τις διαθέσιμες.



Μόλις φορτωθεί μία κλίμακα, εμφανίζονται τα διαστήματά της σε μία ευθεία στο ανώτερο τμήμα του παραθύρου του προγράμματος. Οι γραμμές αντιστοιχούν σε φθόγγους τις κλίμακος, ενώ οι τελείες δείχνουν τις ηχητικές αποστάσεις δύο συνεχόμενων φθόγγων: κάθε τελεία και κάθε γραμμή ισοδυναμεί με δύο ηχομόρια¹³.



Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αλλάξει την βάση, σύροντας τον ρυθμιστή που βρίσκεται στο κέντρο της οθόνης.



Ένας φθόγγος του μέλους εκτελείται για το χρονικό διάστημα που είναι πιεσμένο το αντίστοιχο πλήκτρο του πληκτρολογίου, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Δι	Κε,	Zω	Nη	Πα	Bou	Γα	Δι	Κε	Zω'	Nη'	Πα'	Bou'	Γα'	Δι'
a	s	d	z	x	c	v	b	n	m	,	.	/	;	'

¹³ Στην Βυζαντινή Μουσική όλα τα διαστήματα έχουν άρτιο αριθμό ηχομορίων, δηλαδή πολλαπλάσιο του δύο.

Παρομοίως, η επιλογή του ισοκρατήματος γίνεται με τα ίδια πλήκτρα, εφόσον το πρόγραμμα είναι σε κατάσταση κεφαλαίων. Αλλά για την επιλογή του ισοκρατήματος υπάρχουν και κουμπιά πάνω στην οθόνη.



Το επιλεγμένο ισοκράτημα εκτελείται μέχρι να επιλεγεί κάποιο άλλο. Επίσης, αντί ισοκρατήματος, μπορούμε να επιλέξουμε το κουμπί “M”. Τότε το ισοκράτημα κινείται όπως το μέλος. Φυσικά, σαν προεπιλογή ισοκρατήματος είναι το να μην εκτελείται καθόλου ισοκράτημα, το οποίο επιλέγεται και με το κουμπί “---”.

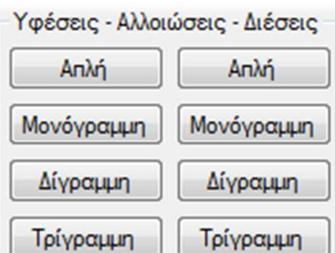
Κατά την εκτέλεση μέλους, στην ευθεία με τα διαστήματα εμφανίζεται ένα πράσινο κυκλάκι, ενδεικτικό της θέσεως του μέλους στην κλίμακα των ηχομορίων. Αναλόγως, κατά την εκτέλεση του ισοκρατήματος εμφανίζεται ένα κόκκινο κυκλάκι.



Μάλιστα, στην οθόνη υπάρχουν ενδεικτικά του φθόγγου και της συχνότητος του μέλους και του ισοκρατήματος, ενώ ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει ανεξάρτητα την ένταση του μέλους και του ισοκρατήματος, σύροντας αναλόγως του ρυθμιστές.

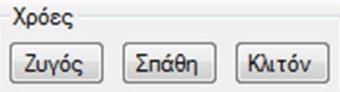


Προκειμένου ένας φθόγγος του μέλους να εκτελεστεί με ύφεση ή δίεση, προηγουμένως ο χρήστης πρέπει να επιλέξει το σωστό σημείο. Η ενέργεια του σημείου αλλοιώσεως στον χαρακτήρα επί τον οποίο τίθεται (και μόνο) γίνεται φανερή από την ευθεία των διαστημάτων, όπου το κυκλάκι του μέλους εμφανίζεται μετατοπισμένο κατά τον ανάλογο αριθμό ηχομορίων.



Για να τοποθετηθεί φθορά ή χρόα επί ενός φθόγγου, ο χρήστης πρέπει να την επιλέξει ακριβώς μετά την εκτέλεση του χαρακτήρα στον οποίο τίθεται. Σε περίπτωση που επιλεγεί φθορά, η ευθεία των διαστημάτων θα τροποποιηθεί καθ' όλο της το μήκος, ενώ σε περίπτωση που επιλεγεί χρόα, η ευθεία τροποποιείται τοπικά.

Για να τοποθετηθεί χρόα, την επιλέγουμε με το αντίστοιχο κουμπί από την οθόνη.



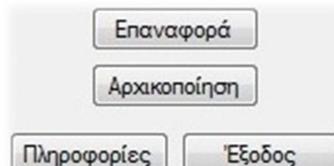
Για να τοποθετηθεί φθορά διατονικού γένους, απλώς πιέζουμε από το πλαίσιο "Φθορές" τον φθόγγο της φθοράς (π.χ. διατονική φθορά του Γα), ενώ για να τοποθετηθεί χρωματική φθορά β' ή πλ.β' ήχου, επιλέγουμε πρώτα το γένος της φθοράς και στην συνέχεια τον φθόγγο (π.χ. χρωματική φθορά β' ήχου του Κε). Προς διευκόλυνση του χρήστη, οι συχνότερες φθορές των χρωματικών ήχων έχουν έτοιμα κουμπιά στην οθόνη¹⁴.

Σε αντιδιαστολή με την δράση των υπολοίπων φθορών, η εναρμόνια φθορά αλλοιώνει τον χαρακτήρα στον οποίο τίθεται, οπότε πρέπει να επιλεγεί πριν την εκτέλεση του φθόγγου.



Το πρόγραμμα διαθέτει και δύο επιπλέον κουμπιά: Το κουμπί "Επαναφορά", που επαναφέρει την τελευταία επιλεγμένη κλίμακα στην αρχική της μορφή και το κουμπί "Αρχικοποίηση", που επαναφέρει όλες τις ρυθμίσεις στην αρχική τους κατάσταση, δηλαδή όπως ήταν όταν ξεκίνησε η εφαρμογή.

Τέλος, το κουμπί "Πληροφορίες" εμφανίζει ένα παράθυρο με πληροφορίες σχετικές με το πρόγραμμα, ενώ το κουμπί "Έξοδος" κλείνει το παράθυρο και ενεργοποιείται όταν πατηθεί το πλήκτρο "Escape".



Στο αρχείο keyboard.pdf παρουσιάζεται ο πίνακας πλήκτρων του πληκτρολογίου και η αντίστοιχη λειτουργία του προγράμματος.

¹⁴ Πρόκειται για τις φθορές του β' ήχου του Βου και του Δι και του πλ.β' ήχου του Πα και του Δι.

Αναλυτική περιγραφή λειτουργίας

Ο προγραμματισμός έγινε σε Visual Basic 2010, μία γλώσσα αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού, η οποία υποστηρίζει -μεταξύ άλλων- φόρμες και παραγωγή ήχου¹⁵. Παρακάτω θα εξετάσουμε λεπτομερώς τον τρόπο με τον οποίο ενσωματώθηκε η θεωρία της Βυζαντινής Μουσικής στο πρόγραμμα ByzPlayer.

Αποθήκευση και φόρτωση κλίμακων

Στο πρόγραμμα υπάρχουν αποθηκευμένες οι πέντε βασικότερες κλίμακες της βυζαντινής μουσικής. Έτσι, σε ένα πίνακα διαστάσεων 5x7, αποθηκεύονται για κάθε κλίμακα τα επτά διαστήματα διαδοχικών φθόγγων μιας οκτάβας, με βάση την θεωρία της Βυζαντινής Μουσικής. Για παράδειγμα, στην πρώτη γραμμή του πίνακα αποθηκεύονται τα διαστήματα του πλαγίου τετάρτου: 12, 10, 8, 12, 12, 10 και 8.

Μόλις ξεκινήσει το πρόγραμμα, φορτώνεται η κλίμακα του πλαγίου τετάρτου (προεπιλογή) σε μία λίστα 15 θέσεων, ως εξής:

- Στην θέση #8, που αντιστοιχεί στα μόρια του φθόγγου Κε, γράφεται 0.
- Στην θέση #9, που αντιστοιχεί στα μόρια του άνω Ζω (Ζω'), γράφεται 10, δηλαδή η απόσταση του Ζω' από τον Κε.
- Στην θέση #10 γράφεται 18 (=10+8), δηλαδή η απόσταση του Νη' από τον Κε. Ομοίως και στις επόμενες θέσεις (ως #14 – άνω Δι), επεκτείνοντας τα διαστήματα κατά το διαπασών / οκτάχορδο σύστημα.
- Στην θέση #7 (Δι) γράφεται -12, δηλαδή η απόσταση του Δι από τον Κε. Το αρνητικό πρόσημο τοποθετείται επειδή το ύψος του Δι είναι χαμηλότερα από το ύψος του Κε.
- Στην θέση #6 (Γα) γράφεται -24 (= -12-12), δηλαδή η απόσταση του Γα από τον Κε. Ομοίως και στις προηγούμενες θέσεις (ως #0 – κάτω Δι).

Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο φορτώνεται και κάθε άλλη κλίμακα, όταν αυτό ζητηθεί από τον χρήστη. Η λίστα στην οποία φορτώνονται τα ηχομόρια των φθόγγων ονομάζεται «τρέχουσα κλίμακα»¹⁶.

Εκτέλεση μέλους και ισοκρατήματος

Ας υποθέσουμε ότι πιέζεται ένα πλήκτρο που αντιστοιχεί σε κάποιο φθόγγο. Τότε δύνεται μήνυμα ότι πατήθηκε το πλήκτρο που αντιστοιχεί στην θέση $#n$ της «τρέχουσας κλίμακος», και υπολογίζεται η προς εκτέλεση συχνότητα f , με βάση την

¹⁵ Η παραγωγή ήχου επιτυγχάνεται χάρη στο αρχείο Microsoft.DirectX.DirectSound.dll, που περιέχει συναρτήσεις σχετικές με επεξεργασία ήχου.

¹⁶ Στον κώδικα του προγράμματος πιθανόν να χρησιμοποιούνται διαφορετικά ονόματα μεταβλητών.

τιμή $MR(n)$ της θέσεως $\#n$ της «τρεχούσης κλίμακος»:

$$f = 440 \cdot 2^{MR(n)}$$

Στην συνέχεια και μέχρι να αφεθεί ελεύθερο το πλήκτρο στέλνεται στην κάρτα ήχου μία ακολουθία δειγμάτων (κυματομορφή), για τα οποία η τιμή του i -οστού δείγματος δίνεται από τον τύπο¹⁷

$$y(i) = 100 \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{i}{SRATE}\right)$$

όπου SRATE είναι η συχνότητα δειγματοληψίας.

Με ανάλογο τρόπο εκτελείται και το ισοκράτημα, με την διαφορά ότι η επιλογή του γίνεται είτε μέσω πληκτρολογίου, είτε μέσω πατήματος κουμπιού στο παράθυρο της εφαρμογής. Επίσης, το ισοκράτημα παύει να εκτελείται με την επιλογή άλλου ισοκρατήματος. Η επιλογή «χωρίς ισοκράτημα» διακόπτει το ισοκράτημα, ενώ η επιλογή «μέλος» επαναλαμβάνει ως ισοκράτημα το εκτελούμενο μέλος.

Για την ταυτόχρονη εκτέλεση μέλους και ισοκρατήματος εφαρμόζεται η αρχή της επαλληλίας, δηλαδή η κυματομορφή που στέλνεται στην κάρτα ήχου αποτελεί το αλγεβρικό άθροισμα (υπέρθεση) των κυματομορφών του μέλους και του ισοκρατήματος.¹⁸

$$y_{ολικό} = y_{μέλους} + y_{ισοκρατήματος}$$

Αλλαγή βάσεως και εντάσεως

Πριν υπολογισθεί η συχνότητα του φθόγγου, προκειμένου να εκτελεσθεί, στα ηχομόριά του προστίθεται η τιμή της μεταβλητής pitch:

$$f = 440 \cdot 2^{MR(n)+pitch}$$

Σε αυτήν την μεταβλητή είναι αποθηκευμένη η μετατόπιση της βάσεως από την αρχική κατάσταση¹⁹. Η τιμή της μεταβλητής pitch αλλάζει είτε μέσω του πληκτρολογίου, είτε σύροντας τον ρυθμιστή, οπότε αν, για παράδειγμα, λάβει τιμή -36, κάθε φθόγγος θα εκτελείται χαμηλωμένος κατά τρεις τόνους ($3 \times 12 = 36$ ηχομόρια). Η βάση μπορεί να προσαρμοσθεί ως και μία οκτάβα (72 ηχομόρια) πάνω ή κάτω από την προεπιλογή.

¹⁷ Οι τύποι που αναγράφονται δεν είναι οι τελικοί. Ο τελικός τύπος της κυματομορφής που στέλνεται στην κάρτα ήχου θα αναγραφεί μόλις ολοκληρωθεί η παρουσίαση του τρόπου εξαγωγής του.

¹⁸ Η συνήχηση μέλους και ισοκρατήματος με παραπλήσιες συχνότητες οδηγεί σε άκουσμα διακροτήματος, δηλαδή σε ήχο ενδιάμεσης συχνότητος που «αναβοσβήνει».

¹⁹ Ως προεπιλογή, αρχικά η μεταβλητή pitch έχει τιμή 0, οπότε και ο φθόγγος Κε εκτελείται στα 440Hz, όταν δεν είναι αλλοιωμένος.

Παρομοίως ρυθμίζεται από τον χρήστη ξεχωριστά η ένταση μέλους και ισοκρατήματος. Αποδεκτές τιμές της εντάσεως είναι από 0 έως 100. Έτσι, κατά την εκτέλεση της μελωδίας, η αντίστοιχη κυματομορφή ενισχύεται κατά παράγοντα ίσο με την επιλεγμένη τιμή:

$$y_{ολικό} = vol_{μέλ} \cdot y_{μέλ} + vol_{ισοκρ} \cdot y_{ισοκρ}$$

Σημεία Αλλοιώσεως

Εάν επιλεγεί ένα σημείο αλλοιώσεως πριν από ένα φθόγγο μέλους, μία μεταβλητή με όνομα all θα λάβει ανάλογη τιμή. Για παράδειγμα, αν επιλεγεί απλή ύφεση, έχουμε all=-2, ενώ αν επιλεγεί δίγραμμη δίεση, έχουμε all=+6. Έτσι, ο υπολογισμός της συχνότητος του φθόγγου του μέλους τροποποιείται, ώστε να συμπεριλάβει την αλλοίωση:

$$f = 440 \cdot 2^{MR(n)+pitch+all}$$

Ακολούθως η τιμή της all επανέρχεται στην προεπιλογή all=0, αφού τα σημεία αλλοιώσεως δρουν μόνο στον χαρακτήρα στον οποίο τίθενται.

Σε αυτό το σημείο ολοκληρώθηκε η εξαγωγή του τύπου της κυματομορφής: Αν οι $n_{μέλ}$ και $n_{ισοκρ}$ ο αριθμός του φθόγγου του μέλους και του ισοκρατήματος αντιστοίχως και MR(.) η λίστα «τρέχουσα κλίμακα», οι συχνότητες και οι επιμέρους κυματομορφές δίνονται από τους τύπους

$$\begin{aligned} f_{μέλ} &= 440 \cdot 2^{MR(n_{μέλ})+pitch+all} \\ f_{ισοκρ} &= 440 \cdot 2^{MR(n_{ισοκρ})+pitch} \\ y_{μέλ}(i) &= 100 \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot f_{μέλ} \cdot \frac{i}{SRATE}\right) \\ y_{ισοκρ}(i) &= 100 \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot f_{ισοκρ} \cdot \frac{i}{SRATE}\right) \end{aligned}$$

οπότε ο τύπος είναι ο εξής:

$$y_{ολικό}(i) = vol_{μέλ} \cdot y_{μέλ}(i) + vol_{ισοκρ} \cdot y_{ισοκρ}(i)$$

Σε περίπτωση που δεν εκτελούνται ταυτόχρονα μέλος και ισοκράτημα, ο τελευταίος τύπος διαφοροποιείται αναλόγως:

$$\text{Μόνο μέλος: } y_{ολικό}(i) = vol_{μέλ} \cdot y_{μέλ}(i)$$

$$\text{Μόνο ισοκράτημα: } y_{ολικό}(i) = vol_{ισοκρ} \cdot y_{ισοκρ}(i)$$

$$\text{Ισοκράτημα ΜΕΛ: } y_{ολικό}(i) = (vol_{μέλ} + vol_{ισοκρ}) \cdot y_{μέλ}(i)$$

Φθορές και Χρόες

Οι φθορές, με εξαίρεση την εναρμόνια φθορά, αλλάζουν τα διαστήματα όλης της κλίμακος, κρατώντας σταθερό τον φθόγγο στον οποίο τέθηκε η φθορά. Σε αυτό το σκεπτικό στηρίχθηκε η διαδικασία εφαρμογής μίας φθοράς σε συγκεκριμένο

φθόγγο του μέλους, διαδικασία που γίνεται σαφής μέσω του ακόλουθου παραδείγματος.

Ας υποθέσουμε ότι ο τελευταίος φθόγγος μέλους που εκτελέσθηκε ήταν ο Δι του διατονικού γένους. Τότε ο Δι ήταν σε ύψος -12 ηχομορίων, αφού το διάστημα Δι-Κε της διατονικής κλίμακος του πλαγίου τετάρτου ήχου είναι μείζων τόνος. Εάν στον φθόγγο Δι τοποθετηθεί η σκληρή χρωματική φθορά του Πα, τότε το γένος του ήχου γίνεται σκληρό χρωματικό και ο φθόγγος Δι πλέον κατέχει την θέση του φθόγγου Πα της κλίμακος του πλαγίου δευτέρου ήχου. Η κλίμακα του πλαγίου δευτέρου ήχου έχει την εξής ακολουθία διαστημάτων, ξεκινώντας από τον Πα: 6, 20, 4, 12, 6, 20, 4.

Φθόγγος	Νη	Πα	Βου	Γα	Δι	Κε	Ζω'	Νη'
πλ. Δ'	12	10	8	12	12	12	10	8
μ	-54	-42	-32	-24	-12	0	10	18
πλ. Β'	4	6	20	4	12	6	20	
μετατοπ.								
πλ. Β'	12	6	20	4	6	20	4	
μ'	-54	-42	-36	-16	-12	-6	14	18

Η θέση του Δι κρατείται σταθερή, -12. Άλλα το διάστημα Δι-Κε είναι ουσιαστικά το διάστημα Πα-Βου του πλαγίου δευτέρου, δηλαδή 6 ηχομόρια. Άρα το ύψος του Κε είναι τώρα $-12+6=-6$. Ομοίως, το Κε-Ζω' είναι ουσιαστικά το Βου-Γα του πλαγίου δευτέρου, δηλαδή 20 ηχομόρια. Συνεπώς το νέο ύψος του Ζω' είναι τώρα $-6+20=14$. Αντιστοίχως, το ύψος του Γα γίνεται $-12-4=-16$, αφού είναι ίσο με το ύψος του Δι, χαμηλωμένο κατά ένα διάστημα Νη-Πα του πλαγίου δευτέρου.

Αυτό που τελικά συμβαίνει είναι ότι μετατοπίζεται η κλίμακα του πλαγίου Δευτέρου τρεις θέσεις παραπάνω και ότι στην συνέχεια τα διαστήματα επαναλαμβάνονται κατά το διαπασών / οκτάχορδο σύστημα. Η νέα κλίμακα αποθηκεύεται στην «τρέχουσα κλίμακα».

Η εναρμόνια φθορά έχει εντελώς διαφορετική δράση – το μόνο που κάνει είναι να χαμηλώνει κατά δύο ηχομόρια μονίμως τον φθόγγο στον οποίο τίθεται και μόνο. Επομένως, πρέπει ο χρήστης να επιλέξει την εναρμόνια φθορά πριν τον φθόγγο. Στην συνέχεια, όταν επιλεχθεί ο φθόγγος στον οποίο τίθεται η φθορά, το ύψος του χαμηλώνεται κατά δύο μόρια, αποθηκεύεται στην «τρέχουσα κλίμακα» και εκτελείται ο φθόγγος στο νέο ύψος.

Η ενέργεια των χρωών παρουσιάζει ορισμένες ομοιότητες με την ενέργεια των φθορών: διατηρεί σταθερό τον φθόγγο στο οποίο τίθεται η χρόα και αλλοιώνει

μονίμως τους γειτονικούς φθόγγους. Αλλά η βασική διαφορά είναι ότι δεν επηρεάζει όλη την κλίμακα, και κατά συνέπεια η εφαρμογή μίας χρόας είναι ευκολότερη αλγορίθμικά.

Αφού επιλεγεί ο φθόγγος του μέλους στον οποίο τίθεται η χρόα, επιλέγεται και η χρόα. Τότε, ανάλογα με την χρόα, αλλοιώνονται τα διαστήματα που είναι αποθηκευμένα στην «τρέχουσα κλίμακα». Για παράδειγμα, έστω ότι τίθεται ζυγός στον Δι. Ο χρήστης επιλέγει την εκτέλεση του Δι στο μέλος και εν συνεχείᾳ επιλέγει τον ζυγό²⁰. Τότε το πρόγραμμα θα διαμορφώσει το ύψος του Γα που είναι αποθηκευμένο στην «τρέχουσα κλίμακα» στα τέσσερα ηχομόρια κάτω από το ύψος του Δι, το ύψος του Βου στα δεκαέξι ηχομόρια κάτω από το νέο ύψος του Γα και το ύψος του Πα στα τέσσερα ηχομόρια κάτω από το νέο ύψος του Βου, αφήνοντας τους υπολοίπους φθόγγους αναλλοίωτους.

²⁰ Υπενθυμίζουμε την δράση του ζυγού: τίθεται στον Δι και ζητεί τους Γα και Πα εν διέσει, τον δε Βου φυσικό. Επομένως, τα διαστήματα της κλίμακος διαμορφώνονται ως εξής:
Πα-Βου 4, Βου-Γα 16, Γα-Δι 20, δηλαδή ο Γα έλκεται από τον Δι και ο Πα έλκεται από τον Βου.

Επίλογος

Δεν ισχυριζόμαστε ότι το πρόγραμμα είναι εύκολο στην χρήση, ιδιαιτέρως εάν ο χρήστης δεν έχει εξοικειωθεί με την εφαρμογή. Αλλά θεωρούμε πως δύσκολα θα μπορούσε να γίνει περισσότερο εύχρηστο, καθώς η Βυζαντινή Μουσική έχει μοναδικό πλούτο, ως προς τα διαστήματα – και όχι μόνο. Πάντως, έχει καταβληθεί σημαντική προσπάθεια προκειμένου οι συντομεύσεις του πληκτρολογίου να συνδέονται λογικά με την ενέργεια που επιτελούν²¹, καθώς και να είναι σε κατάλληλες θέσεις, ώστε να διευκολύνουν τον χρήστη²². Οι συντομεύσεις του πληκτρολογίου παρουσιάζονται οργανωμένα στον πίνακα πληκτρολογίου που προηγήθηκε. Έτσι, έπειτα από λίγη εξάσκηση, καθίσταται εφικτή η εκτέλεση μικρής μελωδίας μέσω του προγράμματος· εκτέλεση με σκοπό την λήψη ακούσματος των σωστών διαστημάτων και μόνον.

Ελπίζουμε και πιστεύουμε ότι το πρόγραμμα ByzPlayer θα βοηθήσει στην εκμάθηση της Βυζαντινής Μουσικής όσους μαθητές το χρησιμοποιήσουν. Θα τους βοηθήσει, δηλαδή, στην ορθή απόδοση των διαστημάτων και στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο ενεργούν τα σημαδόφωνα που αλλοιώνουν το μέλος.

Σε κάθε περίπτωση, εάν τυχόν παρουσιασθεί κάποιο πρόβλημα κατά την εκτέλεση της εφαρμογής (π.χ. αν το πρόγραμμα κολλήσει ή αν εμφανίσει μήνυμα σφάλματος), μην διστάσετε να επικοινωνήσετε στην διεύθυνση constr@hotmail.com, για να διαπιστωθεί η ύπαρξη του προβλήματος και να διορθωθεί.

ΔΟΞΑ ΤΩ ΘΕΩ ΠΑΝΤΩΝ ENEKEN

²¹ Ως παράδειγμα αναφέρουμε την ρύθμιση της εντάσεως του μέλους και του ισοκρατήματος με τα πλήκτρα “+” και “-”.

²² Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η επιλογή των πλήκτρων που εκτελούν φθόγγους και η ανάλογη επιλογή των πλήκτρων που θέτουν φθορά συγκεκριμένου φθόγγου.